国土空间生态修复亟待把握的几个要点

傅伯杰

1 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室 北京 100085
2 北京师范大学 地理科学学部 地表过程与资源生态国家重点实验室 北京 100875

摘要 文章基于人地耦合系统思想，认为国土空间治理中生态空间与生产空间、生活空间的关系呈现协调布局、系统治理、人地和谐3个阶段的演进状态。人地耦合系统研究需要从耦合指标、耦合层次、耦合效应、耦合模型等角度，识别主导评价指标、划定尺度嵌套区域、解析时空关系效应、研发人地耦合模型，系统支撑国土空间生态修复，助力国家和区域高质量发展。

关键词 人地耦合系统，生态修复阶段，协调布局，系统治理，人地和谐

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20201222001

生态修复是指对已退化、损害或彻底破坏的生态系统进行恢复的过程，其修复对象不仅包括生态系统结构和功能，也包括提升生态系统服务[1]。国土空间是承载人类活动的物质载体，由生态系统与人类社会相互作用形成[2]。由于我国过去的生态修复研究大多聚焦于水、土等单一生态要素，或水土流失等单一自然过程，导致治标不治本的问题较为突出，因此，强调系统性、整体性、综合性的国土空间生态修复理念应运而生[3]。在“统筹山水林田湖草系统治理”“深入实施山水林田湖草一体化生态保护和修复”“绿水青山就是金山银山”等生态文明建设思想的引领下，国土空间生态修复的理论和方法体系正在不断完善，具体表现在：生态保护和修复对象从自然要素转向社会-生态要素，尺度从局地生态系统健康改善转向多尺度生态安全格局塑造，目标从生态系统结构与功能优化转向人类生态福祉提升等[3,4]。

国土空间是人地系统的典型空间载体，涵盖上述国土空间生态修复理论的人地耦合系统思想被认为是国土空间生态修复的重要理论基础[4-6]。然而，已有论述往往侧重通过已有人地耦合系统思想阐释国土空间生态修复的理论内涵。一方面未能明确如何有效应用人地耦合系统原理指引国土空间生态修复实践，另一

资助项目：国家自然科学基金（41991230、42041007），“一带一路”国际科学组织联盟战略咨询项目（ANSO-SBA-2020-01）
修改稿收到日期：2020年12月22日；预出版日期：2020年12月23日

方面未能指出如何根据国土空间生态修复行业需求深化人地耦合系统研究。为此，本研究应用人地耦合系统理论阐释国土空间生态修复要点，并提出面向国土空间生态修复的人地耦合系统研究内容。

1 系统认知国土空间生态修复的演进阶段

国土空间是“山、水、林、田、湖、草、沙、海”等自然资源要素和“城、村、路、矿”等人类社会要素在空间上的集成体现，发挥着生产、生活、生态复合功能。在“促进生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀”的国土空间优化总体要求下，对“三生”空间的正确认识成为国土空间开发与保护实践的理论基础[7,8]。尤其是在国土空间生态修复过程中，如何定位生态空间与生产空间、生活空间的关系，摆正国土空间生态修复的战略位置，是开展相关规划和管理工作的先导条件。

本研究从地域系统的空间要素关系角度出发，认为国土空间治理中生态空间与生产空间、生活空间的关系呈现3个阶段的演进状态（图1）。第一阶段核心治理目标是协调布局：关注高强度人类活动下的生态空间挤压与环境质量恶化背景下的资源环境承载能力[9]。通过划定生产、生活、生态空间开发管制界限，减少人类对生态产品和服务的消耗。表现为国土空间过度开发下的一系列生态保护和污染治理政策。第二阶段核心治理目标是系统治理：在深入理解自然资源要素和人类社会要素在空间上影响和反馈路径的基础上，以地域综合体为对象形成国土空间系统认知，以人工辅助引导生态系统自然修复[10]，开展国土空间生态修复统筹“山水林田湖草”系统治理[11]。第三阶段核心治理目标是人地和谐：以天蓝地绿、山清水秀、强大富裕的美丽中国为目标[12]，在人类社会系统与自然生态系统交互作用、相互渗透下推动人地系统的正向演替和协调发展[13]；将生产、生活空间有机融入生态空间之中，铸就国土生态安全格局推进绿色发展，促成人与自然和谐共生。

从上述国土空间生态修复的演进阶段可知，目前所开展的山水林田湖草系统治理工作处于第二阶段，即通过适当的人工支持加强自然资源要素的系统性布局和优化。作为承前启后的阶段，国土空间生态修复既需要夯实第一阶段的生态保护基础、强化生态空间地域认知，又需要铺陈第三阶段的绿色发展方向、促进社会-生态要素耦合。

2 科学开展国土空间生态修复

（1）以协调布局为目标，从自然地域单元的整体性出发，明确国土空间生态保护和修复的重点区域，

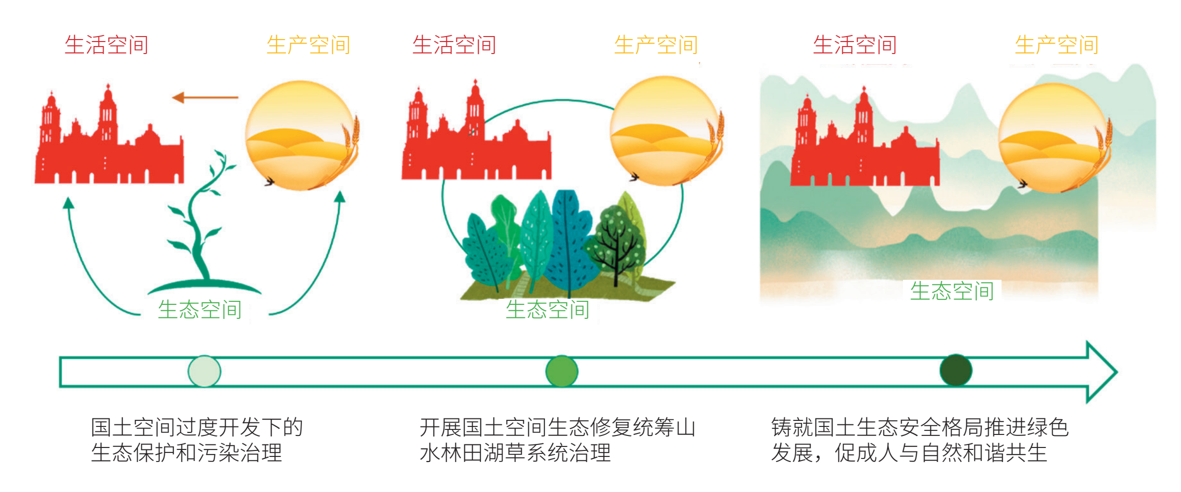


图1　国土空间生态修复的演进阶段
Figure 1　Evolution stage of spatio-temporal ecological restoration

守住自然生态安全边界。自然生态安全边界往往与行政边界并不重合，尤其是发挥重要生态安全屏障功能的大型自然地域单元往往是跨省域的，这就需要国土空间生态修复对国家尺度生态安全战略格局有明确的把握[14]。2011 年 6 月 8 日颁布的《全国主体功能区规划》提出了我国以“两屏三带”为主体的生态安全战略格局，即青藏高原生态屏障、黄土高原—川滇生态屏障和东北森林带、北方防沙带、南方丘陵山地带，形成了一个整体生态安全的基本轮廓。作为自然地域单元，“屏障”和“带”的区别不仅体现在空间形态上，更体现在生态系统结构和功能上。生态屏障的生态系统结构和景观格局相对复杂，提供的生态功能和服务复合多样；生态带往往由某一种生态系统类型主导，提供单一或主体的生态功能和服务。“十四五”期间，我国生态安全战略格局也应当从“大写意”向“工笔画”迈进；在坚持实施主体功能区战略的过程中进一步细化国土生态安全格局，形成我国自然生态安全格局的基本构架，为国土空间生态修复提供总体布局指引。例如，黄土高原—川滇生态屏障在自然地理和生态区划上不是一个整体，横亘中央的秦岭是我国南北分界线，秦巴山地具有维持生物多样性、水源涵养、调节气候等一系列突出生态功能，值得作为国家生态安全屏障进行保护和修复。又如，面向“共抓大保护”的长江经济带绿色发展战略，亟待从流域水系统的角度，探讨长江中下游湖泊、湿地等水体生态保护和修复。再如，作为海洋经济发展生命线的海岸带近年来出现自然岸线锐减、生态环境退化的趋势，未来将海岸带保护纳入国土生态安全格局，将从陆海统筹的角度为海岸带的整体生态保护修复提供更有力支撑。在此基础上，随着北方农牧交错带-南方喀斯特地区进一步的生态修复和保护，建议实施燕山—太行山生态保护与修复，以及京杭大运河绿色生态廊道建设；建设几条连接生态屏障和生态带的南北廊道，形成“屏障-带-廊道”网络化的国家生态安全格局。

（2）以系统治理为目标，深入研究山水林田湖草沙多类自然资源要素和生态系统的相互作用关系及效应，因地制宜确定生态保护修复途径，提升生态系统质量和稳定性。生态保护修复途径可以分为保育特定物种或栖息地、保护区域生态、修复受损生态系统、重建丧失自我恢复能力的生态系统等方式。在湿润和半湿润地区生态系统受损程度较低的情况下，通过保护区域生态空间阻止人为扰动，可以较快地达成自然恢复效果。但在干旱与半干旱地区，由于自然生态系统演替速度相对慢，往往需要采用人工辅助修复或生态重建的方式进行灌木、乔木或草本的种植。但值得警惕的是，山水林田湖草沙要素之间在景观尺度上是高度关联的[15]：干旱区林草植被的增加往往改变水循环，而旱区土壤水、地下水对生态系统稳定性的约束阈值尚具有不确定性。因此，需要意识到陆地生态系统并不是越“绿”越优。对国土空间的人工生态修复和重建应从自然地理规律出发，贯彻质量优先、稳定优先的原则，科学评判区域地带性植被的种植适宜性，在厘清自然资源要素相互作用关系及其资源环境效应的基础上，确定适于本地自然地域条件的恢复方式和山水林田湖草沙空间配置模式。

（3）以人地和谐为目标，进一步将生态修复融入经济、社会、文化建设中，助力国土空间格局优化与民生福祉提升，促进经济社会发展全面绿色转型。国土空间生态修复的对象并不局限于自然生态系统本身，而是同时贯穿着城镇、农田、工矿等各种国土空间社会要素。生态安全的主体是人，目标是在保持生态系统功能的基础上维持和提升人类福祉，因而民生福祉从需求侧的角度进一步明确了国土空间生态修复的目标和效益[16]。提供优质生态产品、提升区域民生福祉，是“绿水青山就是金山银山”理念下国土空间生态修复的重要使命。目前，我国国土空间生态修复通过山水林田湖草生态保护修复工程的布设，为部分区域绿色发展夯实了良好的生态本底。未来，在继续

推进山水林田湖草生态保护修复工程的基础上，有待强化乡村生态振兴中的农田生产和生态功能的提升、新型城镇化目标下的城市生态品质提高、推进能源革命趋势下的绿色矿山建设等生产、生活过程中的国土空间生态修复核心地位。从优化国土空间格局的角度出发，全面落实将生态文明建设融入政治、文化、经济和社会建设中。

3 加强人地耦合系统研究，支撑国土空间生态修复

国土空间生态修复通过对生态系统的保护、修复和重建，为提升生态系统质量和稳定性、守住自然生态安全边界提供了具体行动指南，也是对“绿水青山就是金山银山”理念的直接诠释。考虑到我国国土面积辽阔、生态系统类型多样和社会发展水平差异较大，深入理解不同区域人地关系是支撑国土空间生态修复、促进人与自然和谐共生的科学前提。面向高质量发展总体要求，有待从以下 4 个方面深入理解地理环境和人类活动两个子系统的耦合机制，为国土空间生态修复的全面开展夯实科学基础。

（1）需要从生态与社会耦合指标的角度，分类识别生态系统退化驱动机制，统筹明确生态修复标准体系。一方面，生态系统退化往往是气候变化和人类活动共同作用下导致的，且在不同地域中二者的贡献程度有很大差异。如果只聚焦生态系统退化过程及其空间格局，而忽视退化过程的驱动机制，则将重走“末端问题治理”的老路，不能达成“源头预防”的效果[17]。所谓生态修复中的“源头预防”，就是要通过解耦方法，分类优化人地系统中对生态系统退化格局形成起主导作用的 1 个或多个自然、社会指标。另一方面，生态系统质量和稳定性的众多指标对区域生态安全的贡献是不一而足的。在生态修复标准体系的建立中，需要对特定地域生物多样性保护、生态产品供给等多重目标统筹考虑，找到整体上对生态安全影响最大的几个指标作为重点考评对象[18]。

（2）需要从生态与社会要素耦合层次的角度，从生物地理和生态功能多个层次识别重点修复区域。国土空间中的生态与社会要素共存于同一个地域单元之中，该地域单元在空间尺度上可以是生态系统、景观、流域或区域，在属性层次上可以是要素、结构、功能[19]。在生态修复中，应同时考虑尺度的空间嵌套和属性的层次递进，因此有必要采用地理区划的方式达成对国土空间的综合认知。面向生态修复过程、生态系统服务与人类福祉级联关系的有效表征，可以采用生物地理区划、生态功能区划相嵌套的手段，纳入气候变化和社会经济指标作为外部变量，构建干扰导致生态系统退化程度、基于生物地理属性的生物多样性保育、基于生态系统服务的生态功能提升多层次指标体系提出区划方案[20]。从而使识别出的国土空间生态修复重点区域，同时能够反映生态系统稳定性维持和生态产品供给等多重目标。

（3）需要从生态与社会耦合效应的角度，以时空流动的视角认识生态修复下国土空间生产、生活、生态功能的区域权衡或协同。国土空间生态修复的生态和社会效应不仅是多元的、交互的，而且是时空流动的，人地耦合系统理论中的远程耦合（telecoupling）框架即通过发送系统、接收系统、溢出系统的拆分解释了这种流动性[21]。目前，远程耦合框架已被改进为全程耦合（metacoupling）框架，即在远程耦合的基础上进一步增加了邻域耦合（pericoupling）和内部耦合（intracoupling）[22]。基于全程耦合框架下的国土空间生态修复有待在修复本地效应评价的基础上，定量识别修复过程中国土空间生产、生活、生态功能的邻域响应和远程响应，从而为生态修复绩效评估提供全面依据。

（4）需要从生态与社会耦合模型的角度，发展人地系统耦合模型以预测生态修复对可持续发展的支撑。当前，地球表层系统研究正在从“多元”走向

“系统”，大数据、人工智能等技术进步为可持续发展问题的系统分析提供了重要工具[23]。未来的人地关系研究将要进入对复杂人地系统和可持续发展系统的模拟阶段[24]，而地理环境和人类活动两个子系统的数据匹配和路径识别依然是人地系统模拟的关键[25]。因此，亟待重点研发面向可持续发展机理的人地系统耦合模型，以发挥其在国土空间生态修复空间选址、时序排布、工程遴选、效用评估、决策协同等方面的重要价值，从而使国土空间生态修复成果在未来较长时间内有力支撑国家和区域高质量发展。

参考文献

1 Martin D M. Ecological restoration should be redefined for the twenty-first century. Restoration Ecology, 2017, 25(5): 668-673.

2 彭建, 吕丹娜, 董建权, 等. 过程耦合与空间集成：国土空间生态修复的景观生态学认知. 自然资源学报, 2020, 35(1): 3-13.

3 彭建, 李冰, 董建权, 等. 论国土空间生态修复基本逻辑. 中国土地科学, 2020, 34(5): 18-26.

4 王志芳, 高世昌, 苗利梅, 等. 国土空间生态保护修复范式研究. 中国土地科学, 2020, 34(3): 1-8.

5 曹宇, 王嘉怡, 李国煜. 国土空间生态修复：概念思辨与理论认知. 中国土地科学, 2019, 33(7): 1-10.

6 曹小曙. 基于人地耦合系统的国土空间重塑. 自然资源学报, 2019, 34(10): 2051-2059.

7 黄金川, 林浩曦, 漆潇潇. 面向国土空间优化的三生空间研究进展. 地理科学进展, 2017, 36(3): 378-391.

8 Liu Y X, FU B J, Zhao W W, et al. A solution to the conflicts of multiple planning boundaries: Landscape functional zoning in a resource-based city in China. Habitat International, 2018, 77: 43-55.

9 封志明, 杨艳昭, 闫慧敏, 等. 百年来的资源环境承载力研究：从理论到实践. 资源科学, 2017, 39(3): 379-395.

10 白中科, 师学义, 周伟, 等. 人工如何支持引导生态系统自然修复. 中国土地科学, 2020, 34(9): 1-9.

11 彭建, 吕丹娜, 张甜, 等. 山水林田湖草生态保护修复的系统性认知. 生态学报, 2019, 39(23): 8755-8762.

12 葛全胜, 方创琳, 江东. 美丽中国建设的地理学使命与人地系统耦合路径. 地理学报, 2020, 75(6): 1109-1119.

13 刘彦随. 现代人地关系与人地系统科学. 地理科学, 2020, 40(8): 1221-1234.

14 傅伯杰, 刘焱序. 系统认知土地资源的理论与方法. 科学通报, 2019, 64(21): 2172-2179.

15 吴健生, 王仰麟, 张小飞, 等. 景观生态学在国土空间治理中的应用. 自然资源学报, 2020, 35(1): 14-25.

16 刘焱序, 傅伯杰, 赵文武, 等. 生态资产核算与生态系统服务评估：概念交汇与重点方向. 生态学报, 2018, 38(23): 8267-8276.

17 宫清华, 张虹鸥, 叶玉瑶, 等. 人地系统耦合框架下国土空间生态修复规划策略——以粤港澳大湾区为例. 地理研究, 2020, 39(9): 2176-2188.

18 李红举, 宇振荣, 梁军, 等. 统一山水林田湖草生态保护修复标准体系研究. 生态学报, 2019, 39(23): 8771-8779.

19 袁兴中, 陈鸿飞, 扈玉兴. 国土空间生态修复：理论认知与技术范式. 西部人居环境学刊, 2020, 35(4): 1-8.

20 刘焱序, 傅伯杰, 王帅, 等. 从生物地理区划到生态功能区划——全球生态区划研究进展. 生态学报, 2017, 37(23): 7761-7768.

21 Liu J, Mooney H, Hull V, et al. Systems integration for global sustainability. Science, 2015, 347: 1258832.

22 Liu J. Integration across a metacoupled world. Ecology & Society, 2017, 22(4): 29.

23 Wu B, Tian F, Zhang M, et al. Cloud services with big data provide a solution for monitoring and tracking sustainable development goals. Geography and Sustainability, 2020, 1: 25-32.

24 傅伯杰. 地理学：从知识、科学到决策. 地理学报, 2017,

72(11): 1923-1932.

25 Motesharrei S, Rivas J, Kalnay E, et al. Modeling sustainability: Population, inequality, consumption, and bidirectional coupling of the Earth and Human Systems. National Science Review, 2016, 3(4): 470-494.

Several Key Points in Territorial Ecological Restoration

FU Bojie

(1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;

2 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract The coupled Human-Natural System thinking is considered as an important theoretical basis for territorial ecological restoration. The relationships between ecological space, production space, and living space show three evolution stages in territorial governance: coordinated arrangement, systematic governance, and human-nature harmony. In this regard, coupled Human-Natural System research is necessary to set the perspectives of coupling indicators, coupling hierarchies, coupling effects and coupling models to identify the primary evaluation indicators, delineate hierarchical nested regions, decouple the spatio-temporal relationship of social-ecological effects, and develop human-natural coupling models, so as to systematically support the territorial ecological restoration and facilitate the national and regional high-quality development.

Keywords coupled Human-Natural System, ecological restoration stage, coordinated arrangement, systematic governance, human-nature harmony



傅伯杰 中国科学院院士，发展中国家科学院院士，美国人文与科学院外籍院士，英国爱丁堡皇家学会外籍院士。中国科学院生态环境研究中心研究员。北京师范大学教授。国际地理联合会副主席。从事综合自然地理学和景观生态学研究，在土地利用与生态过程、景观格局与生态系统服务优化等方面取得了系统成果。获国家自然科学奖二等奖和欧洲地球科学联合会洪堡奖章等。E-mail: bfu@rcees.ac.cn

FU Bojie Academician of Chinese Academy of Sciences (CAS), Fellow of the World Academy of Sciences for the advancement of science in developing countries, Elected International Honorary Member of American Academy of Arts and Sciences, Corresponding Fellow of the Royal Society of Edinburgh, UK. Professor of Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, and Beijing Normal Univrsity. Vice President of International Geographical Union (IGU). His research fields are integrated physical geography and landscape ecology. He has acomplished a series of research achievements on land use and ecological process, landscape pattern and ecosystem service optimization. He won the second prize of National Natural Science Award, the State Council; awarded the Alexander von Humboldt Medal of European Geoscience Union, etc.
E-mail: bfu@rcees.ac.cn

■责任编辑：张帆